UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE HOLZBESCHAFFENHEIT VON SCHWARZERLEN DES OBERBAYERISCHEN MORÄNENGEBIETES

WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNG

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

AN DER

STAATSWIRTSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

LUDWIGS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VORGELEGT VON

HELMUTH RAUNECKER
FORSTREFERENDAR

ERSTBERICHTERSTATTER: DOZENT DR. R. TRENDELENBURG

ZWEITBERICHTERSTATTER: PROFESSOR DR. L. FABRICIUS

DRUCK DER SPAMER A.-G. IN LEIPZIG · 1940

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderdruck aus „Holz als Roh- und Werkstoff", Jahrgang 1940, Heft 6
(Verlag von Julius Springer in Berlin)
Printed in Germany.

Bedeutung und Nachzucht des Erlenholzes. — I. Untersuchungsgrundlagen. — II. Stammwuchsuntersuchung. a) Schaftform und Rindenanteil. b) Höhenzuwachs. c) Raum- und Gewichtszuwachs. d) Ringbreite. — III. Stoffliche Beschaffenheit des Erlenholzes. A. Anatomischer Aufbau. B. Chemische Beschaffenheit und Farbe. C. Holzfeuchtigkeit. D. Rohwichte des Erlenholzes. 1. Verlauf des Holzgewichtes in Richtung des Stammhalbmessers. Ringbreite und Rohwichte. 2. Verlauf des Holzgewichtes vom Fuß zur Krone im Stamm. 3. Stammwuchsbilder und Einzeichnung der Raumdichtezahl. 4. Mittelwert, Schwankungsbreite und Häufigkeit von Rohwichte und Raumdichtezahl. E. Schwindmaß des Erlenholzes. F. Festigkeitseigenschaften des Erlenholzes. 1. Druckfestigkeit parallel der Faser. 2. Biegefestigkeit. 3. Zugfestigkeit. 4. Bruchschlagarbeit. 5. Spaltfestigkeit. 6. Brinellhärte. G. Vergleich von Erlenholz mit anderen Hölzern und zusammenfassende Übersicht über die Eigenschaften des Erlenholzes. — Schrifttum.

Bedeutung und Nachzucht des Erlenholzes.

Das Holz der „Weich-Laubhölzer" wie Erle, Pappel, Linde, Weide wird als Rohstoff vom deutschen Holzgewerbe in solchem Umfang benötigt, daß die Nachfrage aus dem deutschen Wald bei weitem nicht gedeckt werden kann. Die waldbauliche Planung hat hier manche Versäumnisse gut zu machen, da die genannten Laubhölzer vielfach stark vernachlässigt wurden. Die Zucht raschwüchsiger Pappelrassen und die Förderung des Pappelanbaues beispielsweise wird in nicht allzuferner Zeit Früchte bringen.

Das Erlenholz hat nach seinem Aufbau, seiner Farbe und seiner Beschaffenheit unter den heimischen Hölzern die größte Ähnlichkeit mit dem Okuméholz und ist auch nach seinen Wuchseigenschaften, dem geraden astfreien bis zur Krone durchgehenden Schaft, wohl in der Lage, letzteres voll zu ersetzen. Erlenholz kann aber auch mit durchaus befriedigendem Erfolg für gewisse ausländische Nadelhölzer eintreten; erinnert sei nur daran, daß die Bleistiftindustrie in Kriegszeiten auf die Einfuhr von Juniperus virginiana und Libocedrus decurrens aus den Vereinigten Staaten verzichten und sich ganz auf Erle sowie Linde einstellen muß.

Erlenholz hat ein sehr gleichmäßiges, feinporiges Gefüge und leichtes Gewicht; das Holz läßt sich leicht bearbeiten (Schnitzen, Fräsen, Drehen), nimmt Polituren gut an und schwindet nicht stark. Es besitzt trotz des niedrigen Gewichtes verhältnismäßig hohe Festigkeit, Härte und Elastizität. Von den mannigfaltigen Verwendungsweisen seien die wichtigsten kurz aufgeführt: Blindholz und Außenfurnier von Furnier- oder Tischlerplatten, Modelle für die Gießerei, Zigarrenkisten und Instrumentenkästen, Bleistifte, Holzschuhe, Hutformen, Spulen, Faßhähne, Spunde, Spielwaren, Verwendung in der Schnitzerei und Kunsttischlerei (gemasertes Holz, z. T. als Mahagoniersatz). Schließlich kann das Holz wegen seiner hohen Dauerhaftigkeit in feuchtem Zustand im Wasser- und Mühlenbau, als Faschinen- und Pfahlholz und zu Stalldielen verwendet werden; auch die Verarbeitung zu leichten Papieren ist möglich.

Die Erle war in Deutschland ursprünglich viel häufiger vertreten; zahlreiche Erlenstandorte wurden in landwirtschaftliches Gelände umgewandelt, Entwässerung verringerte weiterhin die Zahl der günstigen Standorte. In Norddeutschland ist die Erle in den „Erlenbrüchern" noch stärker verbreitet als in Süddeutschland. Ungeeignetes fremdrassiges Saatgut, gefolgt von Schädlings- und Pilzbefall, hat die Erlennachzucht vielfach in Frage gestellt.

In der oberbayrischen Kalk-Moränenlandschaft ist die Erle in Mischung mit der Fichte auf den schweren, dicht gelagerten Grundmoränenböden unentbehrlich, da sie hier als einzige Holzart mit den Wurzeln in die Tiefe geht. Die Fichte muß hier in kurzem Umtrieb erzogen werden, da sie früh rotfaul wird; die Erle vermag infolge ihrer Wuchskraft in dieser Zeit auch bereits wertvolle Erträge zu liefern. Auf kalkreichem Boden mit guter Wasserführung gedeiht sie besonders gut.

I. Untersuchungsgrundlagen.

Die untersuchten 7 Erlen stammen aus den Forstämtern Dießen und Seeshaupt sowie aus der Forstamtsaußenstelle Rott am Inn. Während der Boden in Rott und Dießen in den oberen Schichten schwach sauer ist ($p_H = 5{,}6 \ldots 6{,}9$) und erst in 70 bis 80 cm Tiefe alkalisch wird ($p_H = 7{,}2 \ldots 7{,}9$), zeigt der Boden in Seeshaupt zum Teil schon an der Oberfläche oder in geringer Tiefe alkalische Reaktion; in 1 ... 2 m Tiefe $p_H = 7{,}8 \ldots 8{,}5$. Der Standort ist hier besonders feucht.

Ausgewählt wurden aus Rein- oder Erlen-Fichten-Mischbeständen gut geformte normale herrschende Stämme; nur Stamm 2 war mitherrschend (mit recht schmaler Krone). Stamminhalt und Rindenanteil ergaben sich aus der Stammwuchsmessung. Zu bestimmten Vergleichen wurden auch 2 Fichten gefällt und untersucht.

Die wichtigsten, das Stammäußere kennzeichnenden Zahlen finden sich in Zahlentafel 1.

II. Stammwuchsuntersuchung.

Von allen Stämmen wurden nach dem von Trendelenburg (1938) dargestellten Verfahren Stammwuchsmessungen durchgeführt und z. T. zeichnerisch ausgewertet. Ziemliche Schwierigkeiten bereitet bei den meisten Erlen die genaue Feststellung der Ringgrenzen, zumal bei schmalen Jahrringen.

a) Schaftform und Rindenanteil:

Die Erle zeichnet sich unter allen einheimischen Laubhölzern durch gute gerade Schäfte aus, die bis in die Krone

Die Untersuchungen zu vorliegender Arbeit, die auf Anregung von Geheimrat Professor Dr. L. Fabricius entstand, wurden an der Holzforschungsstelle der Forstlichen Versuchsanstalt und der Technischen Hochschule München unter Leitung von Dr. R. Trendelenburg, Dozent an der Universität München, durchgeführt. Beiden Herren sowie Herrn Professor Dr. G. Krauss sage ich für die weitgehende Förderung meiner Untersuchungen ergebensten Dank. Weiterhin gilt mein Dank Herrn Ministerialrat Fritz Spengler, den Herren Oberforstmeistern von Braun und Fellmet und Herrn Forstmeister Klietsch, die mich in entgegenkommendster Weise bei der Beschaffung des Versuchsmaterials unterstützten.

Zahlentafel 1. Übersicht über die untersuchten Erlen.

Erle — Stamm	1	2	3	4	5	6	7
Wuchsgebiet	Rott a. I.		Dießen		Seeshaupt		
Fällzeit	Juli 1937		August 1937		September 1937		September 1938
Alter (Jahre)	102	100	59	70	70	65	70
Durchm. 1,3 m Höhe cm	35,6	25,2	26,4	34,4	32,6	31,6	31,5
Höhe m	27,0	25,5	18,8	22,5	27,9	26,8	25,9
Formzahl[1]	0,477	0,454	0,469	0,365	0,319	0,420	—
Schlankheitsgrad[2]	0,76	1,01	0,71	0,65	0,85	0,85	0,77
Kronenanteil[3] %	20	22	39	17	20	30	27
Rindenanteil[4] %	14,0	8,9	7,9	10,6	11,6	11,8	—
Schaftinhalt m. R. fm	1,257	0,635	0,355	1,088	1,174	1,010	—
o. R. fm	1,081	0,580	0,310	0,973	1,038	0,891	—
Raumdichtezahl kg/fm	435	480	503	448	390	402	404
Rohwichte[5] g/cm³	0,507	0,566	0,596	0,516	0,452	0,465	0,455

durchlaufen (Bild 1). Um die Metzgersche Theorie zu prüfen, nach der die Stammform auf die Windbeanspruchung zurückgeführt wird und die Stämme die Gestalt von Trägern gleichen Widerstandes gegen Biegung be-

Bild 1. Erle 7 aus Seeshaupt.

sitzen, wurden die Durchmesserkuben gegen die Stammhöhe aufgetragen. Es zeigte sich, daß diese Punkte nur auf kurze Entfernung durch eine Gerade verbunden werden konnten und daß die Verbindungslinie der Durchmesserkuben die Stammachse oberhalb des Kronenschwerpunktes schnitt. Dies entspricht dem Befund an Buche von Größler (1939); die Theorie trifft also auch für die Erle nicht zu. Die Stämme sind mehr vollholzig gebaut als man nach Metzger erwarten sollte.

Die Schaftform steht häufig in engem Zusammenhang mit der Kronengröße; großkronige Stämme sind meist stärker abholzig als gleich hohe kleinkronige. Dies trifft hier nicht voll zu; Stamm 4 und 5 haben trotz kleinsten Kronenanteils die kleinste Formzahl (Formquotient nach Schiffel). Mit zunehmendem Alter nimmt die Vollholzigkeit stark zu, wie Stamm 1 und 2 im Vergleich mit 4 und 5 zeigen.

Am besten wird die Schaftform durch die Angabe des Durchmesserabfalls je laufenden Meter Stammlänge gekennzeichnet; in Zahlentafel 2 finden sich für 3 Erlen und 1 Fichte vom gleichen Standort wie Erle 5 einige Werte gegenübergestellt, die die Vollholzigkeit der Erle im unteren Schaftteil (abgesehen vom Wurzelanlauf) darstellen:

Zahlentafel 2. Vollholzigkeit (Stammform) in verschiedener Stammhöhe.

Stammhöhe m von... bis	Durchmesserabfall (cm) je laufenden Meter			
	Erle 1	Erle 4	Erle 5	Fichte 1
0,1... 1,1	10,7	7,8	12,1	3,8
1,1... 3,3	1,8	1,1	1,0	1,3
3,3... 5,5	0,6	0,9	0,9	0,5
5,5... 8,8	0,6	0,8	0,9	1,1
8,8...14,4	1,1	1,5	0,8	0,3

In Rott a. I. sind Fichten bei gleichem Durchmesser i. allg. 1...2 m höher als Erlen, sie sind also vollholziger als letztere.

Schließlich ist noch auf die Rindenausbildung der Stämme einzugehen. Wie aus der Zahlentafel 1 hervorgeht, ist der Rindenanteil (bezogen auf den berindeten Schaft, auch Rindenabzugsprozent genannt) beim ältesten herrschenden Stamm 1 mit 14,0% am größten, beim schmalkronigen, gleichalten, mitherrschenden Stamm 2 mit 8,9% viel kleiner. Der 59jährige Stamm 3 hat nur 7,9% Rinde, die übrigen Erlen liegen dazwischen. Der mittlere Rindenanteil beträgt 10,8%. Die zum Vergleich herangezogene 70jährige Fichte hat 11,8% Rinde. Die Rindendicke liegt je nach Stammhöhe zwischen 0,6 und 2,2 cm.

Zahlentafel 3.
Rindendicke in verschiedener Stammhöhe.

Stammhöhe m	Rindendicke cm			
	Erle 1	Erle 2	Erle 5	Fichte 1
0,1	2,2	1,8	1,6	1,6
2,2	1,3	1,4	1,8	0,8
4,4	1,6	1,8	1,6	1,2
6,6	1,2	1,4	1,6	—
8,8	1,4	1,5	1,4	1,0
14,4	1,8	1,6	1,8	—
18,8	—	1,1	1,4	—
21,0	1,1	—	1,0	1,0

b) Höhenzuwachs.

Die Erle wächst in der ersten Jugend sehr stark in der Länge; das laufende Höhenwachstum nimmt aber verhältnismäßig früh ab. Im Jahrfünft 1908...1912 zeigte sich bei allen Stämmen eine deutliche Stockung im Längen-

[1] Formzahl („Formquotient") nach Schiffel: Durchmesser in $^3/_4$ Höhe: Durchmesser in $^1/_4$ Höhe.
[2] Höhe: Durchmesser in 1,3 m Höhe.
[3] (Gesamtlänge — Kronenbeginn : Gesamtlänge) · 100.
[4] Bezogen auf Schaftinhalt mit Rinde.
[5] Rohwichte r_0 = Raumgewicht r_0.

wuchs. Der durchschnittliche Höhenzuwachs erreicht spätestens mit etwa 30 Jahren den Höchstwert; er liegt bei allen Stämmen im Alter von 50 Jahren bei etwa 40 cm.

c) Raum- und Gewichtszuwachs.

Während der Gang des Höhenzuwachses für das Zusammenleben der Erle mit anderen Holzarten wichtig ist, sagt uns der Raumzuwachs aus, wieviel Holz der Einzelstamm durchschnittlich in den verschiedenen Lebensaltern erzeugt hat. Aus der später zu zeigenden Verteilung der Raumdichtezahl innerhalb des Stammes läßt sich dann auch neben dem Rauminhalt die durchschnittlich gebildete Holzmasse (in Kilogramm) bestimmen, die für den biologisch einwandfreien Vergleich mit anderen Holzarten dient.

Der laufende Raum- und Massenzuwachs steigt in der Jugend mehr oder minder steil an; er erreicht bei den untersuchten Stämmen seinen Höchstwert zwischen 40 und 75 Jahren. Stamm 5 hat den höchsten Zuwachs, nämlich zwischen dem 60. und 70. Jahr 0,0295 fm je Jahr erreicht; im 40. bis 50. Jahr war der Zuwachs gleich hoch. Dieser Stamm lieferte als Höchstwert fast 13 kg Stammholz je Jahr. Auch Erle 4 erreichte im Höchstfall 10 kg Zuwachs.

Der Durchschnittszuwachs steigt langsamer an und erreicht seine Gipfelung im Zeitpunkt, in dem er die Kurve des laufenden Zuwachses schneidet. Dies ist bei den Stämmen im Alter von etwa 70 bis 100 Jahren zu erwarten. Der Höchstwert für den Raumzuwachs beträgt 0,015 fm und 6,1 kg Holz je Jahr (Stamm 4, Bild 2).

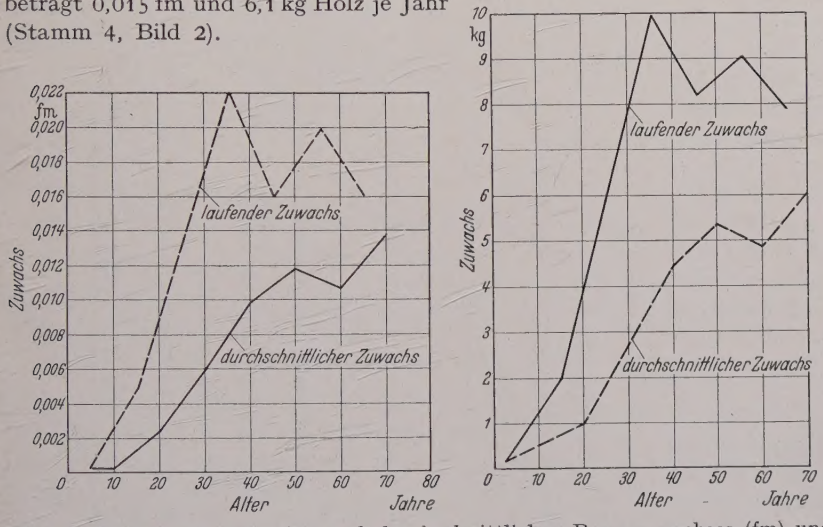

Bild 2. Verlauf des laufenden und durchschnittlichen Raumzuwachses (fm) und des laufenden und durchschnittlichen Zuwachses an Holzmasse (kg) bei Erle 4.

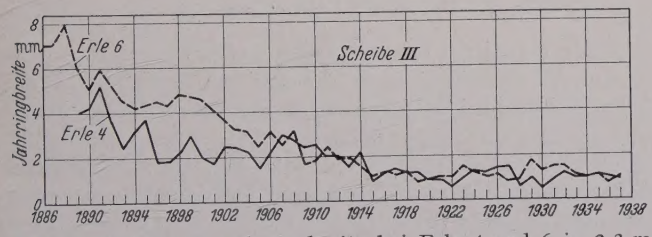

Bild 3. Verlauf der Jahrringbreite bei Erle 4 und 6 in 2,3 m Höhe im Stamm.

d) Ringbreite.

Bei Nadelhölzern und ringporigen Laubhölzern ist die Ringbreite von großer Wichtigkeit, da sich aus ihr vielfach sichere Rückschlüsse auf Gewicht und Festigkeit des Holzes ziehen lassen. Die Jahrringe sind bei der Erle in der Regel innen breit; sie werden dann allmählich immer schmäler, da der Stammumfang größer wird. Für zwei Stämme wurde der Ringbreitenverlauf gemessen (Bild 3) (Stammhöhe 2,3 m; die innersten Ringe konnten wegen

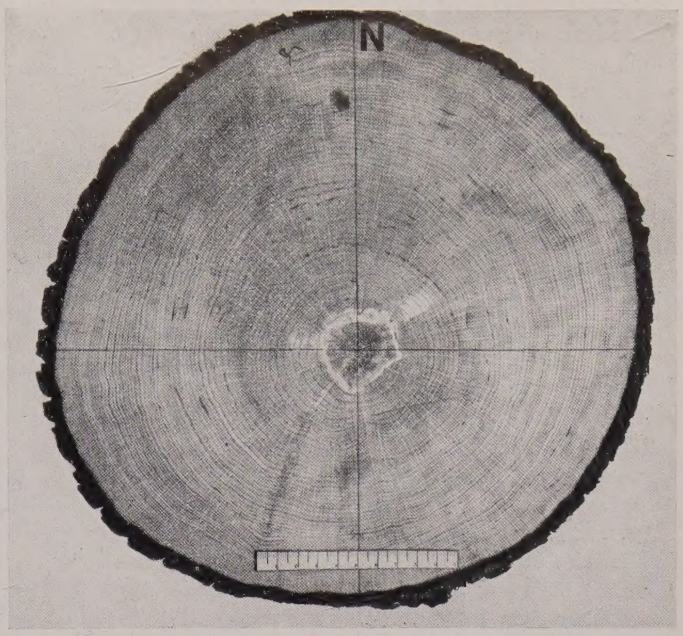

Bild 4. Querschnitt durch Erle 7 aus Seeshaupt in 2,3 m Höhe. Innen Fäulnis durch Polyporus igniarius. Man sieht deutlich die geringere Feuchtigkeit des Holzes, das an die Faulstelle angrenzt. Zahlreiche dunkle Markflecken.

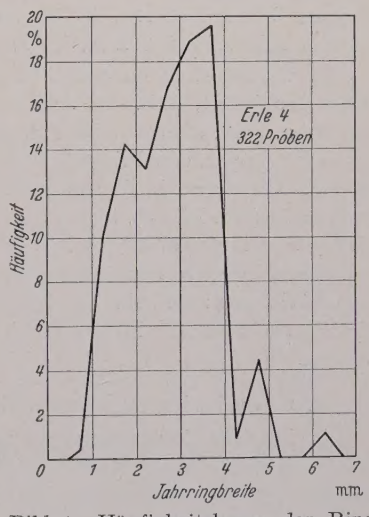

Bild 5. Häufigkeitskurve der Ringbreiten von Erle 4.

teilweisen Pilzbefalls nicht mehr sicher bestimmt werden und wurden daher weggelassen [Bild 4]). Während anfänglich Stamm 6 breitere Jahrringe (bis 8,0 mm) besitzt als Stamm 4 (bis 5,3 mm), wurden von 1910 ab auffällig gleiche, wenig schwankende Ringbreiten meist zwischen 1 und 2 mm gebildet. Die Gleichmäßigkeit der Ringbreiten unterscheidet sich von dem Verlauf bei Nadelhölzern auffällig; man kann sie wohl damit erklären, daß der feuchte Standort selten so stark austrocknet, daß der Zuwachs geschwächt wird, zumal die Erlen in dem schweren Boden ihre Wurzeln z. T. 1 bis 2 m tief hinabsenden. Um die Gesamtschwankung und Häufigkeit der Ringbreiten innerhalb der ganzen Stammlänge zu zeigen, wurde Bild 5 für Erle 4 entworfen; als Mittelwert ergibt sich eine Ringbreite von 3,0 mm.

Schließlich sei erwähnt, daß nach Aufnahmen anläßlich der Forsteinrichtung für die Seeshaupter Erle für das Alter

von 100 Jahren ein durchschnittlicher Brusthöhendurchmesser von 27 cm ermittelt wurde, was einer mittleren Ringbreite von 2,7 mm in dieser Höhe entsprechen würde. Für das Alter von 70 Jahren ergibt sich bei einem Brusthöhendurchmesser von 22 cm eine Ringbreite von 3,1 mm. Inwieweit sich Rohwichte und Festigkeit mit der Ringbreite verändern, wird später gezeigt werden.

III. Stoffliche Beschaffenheit des Erlenholzes.

A. Anatomischer Aufbau.

Die Erle besitzt keinen durch Farbe oder Feuchtigkeitsgehalt scharf vom Splint unterschiedenen Kern; das gesunde Holz ist im frisch gefällten Zustand gelblichweiß und nimmt an der Luft rasch eine rötliche bis gelbrote Farbe an. Im oberbayrischen Moränengebiet wird die Erle meist mit etwa 80 Jahren vom Polyporus igniarius befallen, der die inneren Holzteile oft in nahezu kreisrunder Form zerstört (s. Bild 4).

Das Holz ist zerstreutporig; die Gefäße haben einen kleinen Durchmesser von 50...65 μ und leiterförmige Durchbrechung. Die Länge der Gefäßglieder beträgt 0,30...1,23, im Mittel 0,77 mm; die der Fasern 0,30...1,65, im Mittel 1,00 mm. Der Gefäßanteil schwankt stark zwischen 11 bis 42%; er beträgt im Durchschnitt 29%. Die Holzfasern nehmen 46...74, im Durchschnitt 58% am Holz ein.

In den Scheinmarkstrahlen sind jeweils 4...10 Einzelmarkstrahlen vereinigt; zwischen ihnen befindet sich gefäßfreies Fasergewebe. Der Anteil an einschichtigen Markstrahlen beträgt 6...20, im Durchschnitt 12%, der der Scheinmarkstrahlen 3...10, im Durchschnitt 6%.

Ein wesentliches Kennzeichen des Erlenholzes ist die Braunfleckigkeit, d. h. das Auftreten von dunkelbraunen „Markflecken", die als parenchymatische Wucherungen in den Fraßgängen von Fliegenlarven der Agromyciden entstehen. Diese sind in den unteren Stammteilen oft überaus häufig (vgl. Bild 4), treten aber von etwa 5 m Höhe ab zurück und fehlen oben ganz. Escherich (1938) gibt eine zusammenfassende Darstellung dieser Beschädigung, die aber höchstens als Farbfehler bezeichnet werden kann, da die Eigenschaften des Holzes durch sie nicht beeinträchtigt werden.

B. Chemische Beschaffenheit und Farbe.

Die chemische Zusammensetzung des Erlenholzes wurde von Schwalbe und Becker (1920) und König und Becker (1919) untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse der erstgenannten Forscher seien in Zahlentafel 4 aufgeführt:

Zahlentafel 4.
Chemische Zusammensetzung von Erlenholz.

Zellulose pentosanfrei %	Ges. Pentosane %	Lignin %	Ätherauszug %	Alkoholauszug %	Protein %	Asche %
43,4	23,0	23,9	0,86	2,57	1,74	0,53

Das Holz enthält 1,1...2,4% Gerbstoff, die Rinde 2,1...10,2%. Die Verbrennungswärme H_0 beträgt nach Fabricius und Groß 4316 kcal/kg, der untere Heizwert bei 15% Feuchtigkeit 3669 kcal/kg.

An Schnittflächen nimmt die Erle schnell ein rostrotes Aussehen an. Die Rotfärbung ist in der Hauptsache ein Oxydationsvorgang und erfolgt nur bei einem gewissen Wassergehalt des Holzes. Nach Neger (1911) sind es ausschließlich die lebenden Zellen des Holzgewebes, die als Träger der färbenden Stoffe in Betracht kommen, und zwar ist es der Zellinhalt der Markstrahl- und der Holzparenchymzellen sowie der Ersatzfasern, der sich bei Sauerstoffzutritt mehr oder weniger rotbraun bis gelbbraun färbt. Weder in den Gefäßen oder in den Tracheiden und Holzfasern, noch in den Membranen der verschiedenen Holzelemente ist eine Färbung zu sehen. Da der rote Inhaltskörper in Wasser oder Alkalien unlöslich ist und selbst stark oxydierenden Stoffen ziemlich großen Widerstand entgegensetzt, schließt Neger, daß es sich um einen schwer zersetzbaren, hochmolekularen Körper handeln muß. Durch mechanische Verletzungen wird diese Färbung noch gefördert. Die Sauerstoffgier der lebenden Zellen scheint im Erlenholz ganz besonders groß zu sein. „Man könnte daran denken, daß diese Eigentümlichkeit mit den der Erle am meisten zusagenden Standortsbedingungen (humosem und dementsprechend sauerstoffarmem Boden) in Zusammenhang steht..." (Neger). Auffallend war, daß bei den von mir untersuchten Erlenstämmen das Holz von Stamm 3 auch nach der Verarbeitung und Trocknung im Gegensatz zu den anderen Bäumen ziemlich weiß geblieben ist.

C. Holzfeuchtigkeit.

Zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes wurde Erle 7 im September 1938 auf dem gleichen Standort wie Erle 5 gefällt; dickere Stammscheiben wurden sofort an der Holzforschungsstelle in München in Arbeit genommen. Mit einem Blechstück, das dem Verlauf der Jahrringe angepaßt werden konnte, wurden in einer Breite von je 2 cm längs eines Achsenkreuzes die Holzstücke für je 5 Jahre abgespalten und auf einer Schnellwaage gewogen. Auch einige Äste wurden mit untersucht.

Als Gesamtmittel der Feuchtigkeit ergab sich für die Schwarzerle ohne das Holz der vom Pilz angegriffenen Jahre 0...10 der Wert 118,9%, (mit diesem dagegen der Wert von 112,2%). 1 fm Erlenholz hat also eine Raumdichtezahl von 437 kg/fm und enthält bei einem Wassergehalt von 112,2% 485 kg Wasser. Nach Trendelenburg (1939) gehört die Erle demnach zur Gruppe der nassen Hölzer wie Buche, Eiche, Linde, Pappel u. a. Der Verlauf des Feuchtigkeitsgehaltes ist in Bild 6 dargestellt.

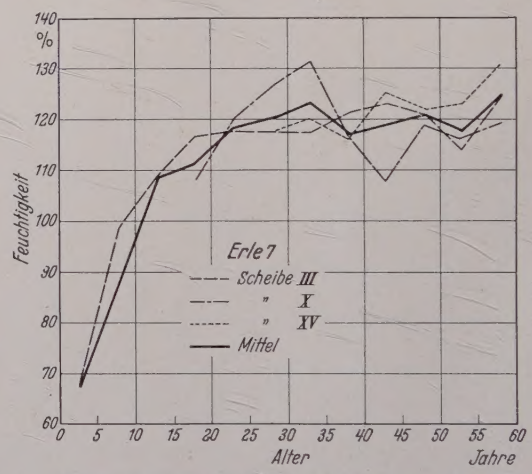

Bild 6. Verlauf des Feuchtigkeitsgehaltes vom Mark zur Rinde bei Erle 7.

Außen wurden Feuchtigkeitsgehalte von 120...130% bestimmt, die damit nahe der völligen Sättigung liegen. Diese beträgt bei mittelschwerem Holz etwa 160%. Dann nimmt die Feuchtigkeit bei allen Scheiben fast gleichmäßig nach innen bis auf etwa 100 bis 110% ab. Die Unterschiede innerhalb des Stammes — sowohl von innen nach außen als auch von oben nach unten — sind bei dem untersuchten Stamm recht gering, kleiner als z. B. bei der Buche. Nur die innersten 15 Jahrringe wiesen in dem unteren Stammteil viel weniger Wasser auf (70%). Das betreffende Holz ist von Polyporus igniarius befallen; der Pilz scheint also das Erlenholz nur da befallen zu können, wo das Holz bereits trockener geworden und genügend Luft vorhanden ist.

Der Feuchtigkeitsgehalt der untersuchten Äste betrug 101,7, 107,0 und 112,6%, was einem Mittelwert von

107,3 % entspricht und bei der höheren Rohwichte zu erwarten ist.

Hägglund (1939) hat folgende von ihm für den Wassergehalt der Schwarzerle gefundenen Werte zusammengestellt:

Rohwichte (r_0) g/cm³	Wassergehalt u %
0,445	120
0,486	108
0,488	107

Als Rohwichte wurde von mir bei Erle 7 der Wert 0,455 g/cm³ und ein Wassergehalt von 118,9 bzw. 112,2 % gefunden; dies stimmt mit den Zahlen von Hägglund gut überein. Der geringere Feuchtigkeitsgehalt der Äste erklärt sich aus deren größerer Wichte. Desgleichen fand die Angabe Hägglunds, daß der Wassergehalt in den äußeren Teilen des Splints am größten ist, ihre Bestätigung.

D. Rohwichte des Erlenholzes.

Die Ermittlung der Rohwichte der Einzelstämme von verschiedenem Standort und des Gewichtsverlaufes innerhalb der Stämme war von besonderem Interesse, da Erlenholz in dieser Hinsicht noch nicht untersucht war und da es zweifelhaft schien, ob die Erfahrungen von anderen Laubhölzern — wie Eiche und Buche — auf dieses weiche Laubholz übertragen werden können. Das Untersuchungsverfahren war das an der Münchener Holzforschungsstelle übliche (Trendelenburg 1939).

1. Verlauf des Holzgewichtes in Richtung des Stammhalbmessers. Ringbreite und Rohwichte.

In den unteren Stammteilen zeigen alle 7 Erlen zunächst eine deutliche und z. T. erhebliche Zunahme der Rohwichte von innen nach außen, die zweifellos mit der Abnahme der Ringbreite zusammenhängt (Zahlentafel 5). Erle 3 weist z. B. eine Zunahme der Raumdichtezahl von 128 kg/fm (von 408 auf 536 kg/fm) auf; die Ringbreite sinkt von etwa 4 mm auf 1,5 mm. Auch Erle 7 verhält sich ähnlich, während andere Stämme nur kleinere Veränderungen erkennen lassen. Bei einigen Erlen ist an der Stammaußenseite das Holz am schwersten, bei anderen zeigt sich aber doch, daß ein

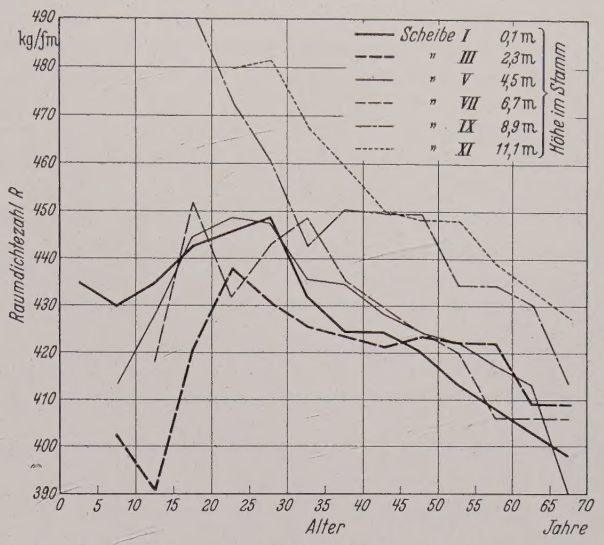

Bild 7. Verlauf der Raumdichtezahl vom Mark zur Rinde bei Erle 4 in verschiedener Stammhöhe.

Höchstwert erreicht wird, nach dem das Gewicht wieder absinkt. Anschaulich zeigt Bild 7 den Verlauf der Raumdichtezahl für verschiedene Höhen im Stamm. Aus allen 4 Richtungen im Stamm wurden für je 5jährige Abschnitte die Mittelwerte berechnet und für 6 Scheiben

Zahlentafel 5. Verlauf von Ringbreite, Raumdichtezahl (R) und Rohwichte (r_0) im Querschnitt in 2,3 m Stammhöhe.

Scheibe	Probe 0	1	2	3	4	5	6
Entfernung vom Mark in mm . . .	Mark	12...32	34...54	56...76	78...98	100...120	122...142
1/III Südseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	4,7	4,8	2,7	1,8	1,2	0,7
R . . . . . kg/fm	—	397	400	403	479	411	409
r_0 . . . . . g/cm³	—	0,456	0,465	0,481	0,566	0,484	0,477
2/III Nordseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	2,1	1,9	1,9	0,9	0,5	—
R . . . . . kg/fm	—	442	478	483	477	474	—
r_0 . . . . . g/cm³	—	0,519	0,577	0,581	0,566	0,559	—
3/III Nordseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	3,8	2,1	1,6	1,5	—	—
R . . . . . kg/fm	408	419	468	500	536	—	—
r_0 . . . . . g/cm³	0,474	0,496	0,540	0,600	0,642	—	—
4/III Nordseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	4,0	3,1	2,4	3,8	2,7	2,1
R . . . . . kg/fm	404	390	414	433	430	435	427
r_0 . . . . . g/cm³	0,462	0,453	0,487	0,499	0,504	0,497	0,493
Südseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	3,7	2,8	2,4	2,7	3,2	1,2
R . . . . . kg/fm	—	396	433	444	428	413	412
r_0 . . . . . g/cm³	—	0,462	0,505	0,514	0,493	0,477	0,469
5/III Nordseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	5,1	4,8	2,4	1,7	1,1	1,6
R . . . . . kg/fm	367	323	351	350	358	347	352
r_0 . . . . . g/cm³	0,405	0,379	0,410	0,406	0,416	0,402	0,396
6/III Nordseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	4,8	4,8	4,9	3,9	2,5	0,5
R . . . . . kg/fm	370	357	375	350	399	383	403
r_0 . . . . . g/cm³	0,393	0,416	0,431	0,409	0,467	0,444	0,451
7/III Nordseite							
Ringbreite . . . . . mm	—	3,1	2,7	3,2	2,8	1,7	—
R . . . . . kg/fm	315	329	358	380	387	398	—
r_0 . . . . . g/cm³	0,359	0,370	0,403	0,434	0,437	0,443	—

aufgetragen. Die Höchstwerte liegen meist zwischen dem 15. und 25. bis 30. Jahr; darüber hinaus nimmt das Holzgewicht wieder ab. Die anderen Stämme verhalten sich ähnlich.

In den höheren Stammteilen fehlt die anfängliche Gewichtszunahme, die im unteren Stammteil ausgeprägt ist. Sieht man von der Stockscheibe I ab, die wegen des Wurzelanlaufes unregelmäßig ist, so liegen die Linien für die einzelnen von unten nach oben aufeinanderfolgenden Scheiben übereinander.

Die Erle unterscheidet sich also in ihrem Holzgewichtsverlauf auffällig von den Hartlaubhölzern Eiche oder Buche, die stets im Stamminnern das schwerste Holz besitzen. Nur in den oberen Stammteilen zeigt sich bei der Erle die Erscheinung der Gewichtsabnahme von innen nach außen. Auch mit Fichte und Kiefer ist keine völlige Übereinstimmung vorhanden, da bei diesen die Zunahme des Gewichtes meist über einen größeren Teil des Querschnittes erfolgt.

In Bild 8 wurden für die Proben von Scheibe III (aus 2,3 m Höhe im Stamm) die mittleren Raumdichtezahlen

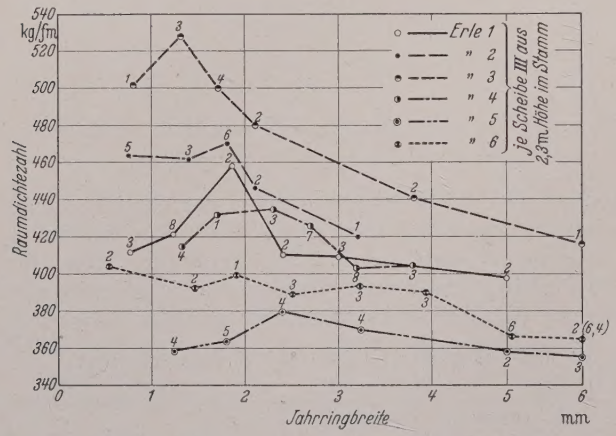

Bild 8. Mittlere Raumdichtezahlen in Abhängigkeit von der Jahrringbreite. (Proben von Scheibe III aus 2,3 m Höhe im Stamm.)

über der Jahrringbreite aufgetragen. Stamm 3 hat bei einer gewissen Ringbreite weitaus das höchste Gewicht; es folgen Erle 1 und 2 mit nahe beieinander liegenden Werten, obgleich sie wegen anderer Ringbreitenhäufigkeit ganz verschiedenes Durchschnittsgewicht aufweisen. Erle 4 zeigt ähnlichen Verlauf, bei Erle 5 dagegen wird bei gleicher Ringbreite das leichteste Holz gebildet; außerdem ist der Zusammenhang zwischen Ringbreite und Raumdichtezahl hier nur sehr lose.

Immerhin geht aus diesem Bild deutlich hervor, daß die Erle ähnlich wie Kiefer und Lärche eine für das Gewicht „günstigste Ringbreite" besitzt, die bei etwa 1...2 mm liegt; darüber hinaus nimmt bei einem und demselben Stamm das Gewicht mit zunehmender Ringbreite ab und engere Jahrringe weisen gleichfalls wieder leichteres Holz auf. Für den Vergleich verschiedener Stämme ist die Ringbreite nicht geeignet, da das Holzgewicht bei einer bestimmten Ringbreite völlig verschiedene Werte erreichen kann. Bei etwa 1,5 mm Ringbreite ist das schwerste Holz der untersuchten Stämme in gleicher Stammhöhe um 140 kg/fm schwerer als das leichteste. Der Verlauf der Abhängigkeit zwischen Ringbreite und Holzgewicht unterscheidet sich damit von dem harter Laubhölzer wie Buche oder Eiche. Der Holzverbraucher, der leicht zu bearbeitendes Holz sucht, wird solches am besten bei weitringigen Stämmen finden.

2. Verlauf des Holzgewichtes vom Fuß zur Krone im Stamm.

Bei manchen Holzarten treffen wir auf ausgeprägte Unterschiede in der Rohwichte verschiedener Stammteile. So ist bei der Kiefer das Holz der „Stammware", also des unteren Stammabschnittes wesentlich schwerer, damit auch fester und dauerhafter als das der „Zopfware" des oberen Stammes. Auch bei Lärche, Tanne, Buche und anderen Hölzern sind die unteren Stammteile besonders schwer. Die Fichte dagegen hat innerhalb der Stammlänge recht gleichmäßig schweres Holz. Ganz anders verhält sich die Erle; zwar fällt die Rohwichte zunächst vom Stock an bis zu 1...3 m Höhe etwas ab, dann nimmt sie aber ganz gleichmäßig und stetig bis zur Krone hin zu (Bild 9). Das Gewicht am Stockende wird rasch

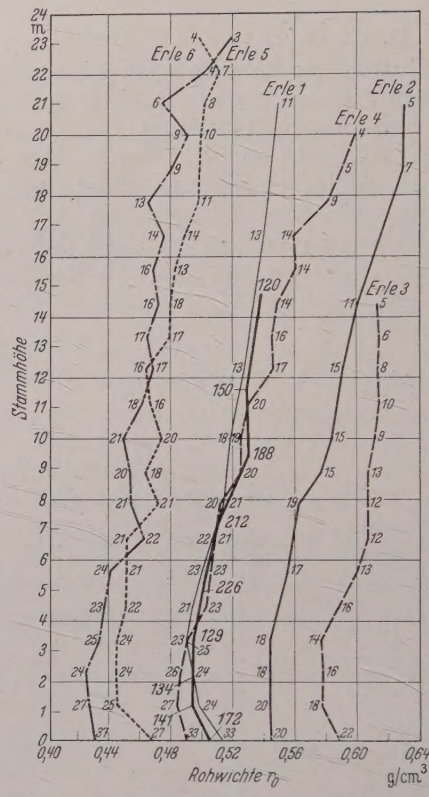

Bild 9. Veränderung der Rohwichte r_0 mit der Stammhöhe bei Erlenholz.

überschritten. Das leichteste Holz ist also stets in etwa 1 bis 4 m Höhe im Stamm zu finden. Auffallend ist der ähnliche Gewichtsverlauf bei allen Stämmen. Da es sich hier um Bäume verschiedener Standorte und Kronenausbildung handelt, scheinen wir es bei der Gewichtsänderung in der Stammlängsrichtung mit einer Arteigentümlichkeit zu tun zu haben. (Vgl. Trendelenburg 1939, Abb. 97.)

3. Stammwuchsbilder und Einzeichnung der Raumdichtezahl.

Wenn man die Einzelwerte der Raumdichtezahl in ein Stammwuchsbild einzeichnet und die zusammengehörigen Gebiete schematisch verbindet, ergibt sich ein Bild von übereinander angeordneten, nach oben schwerer werdenden Zonen. Bild 10 gibt für Erle 4 aus Dießen ein Beispiel (Nord-Südrichtung). Diese Zonen sind dadurch bemerkenswert, daß sie innen im Stamm weiter herabreichen als außen; dies hängt mit der für die oberen Stammteile erwähnten Abnahme des Holzgewichtes von innen nach außen zusammen. Auf der Südseite tritt

außen eine besonders leichte Zone auf, wie sie sonst nur ganz in der Stammitte des unteren Teiles zu finden ist.

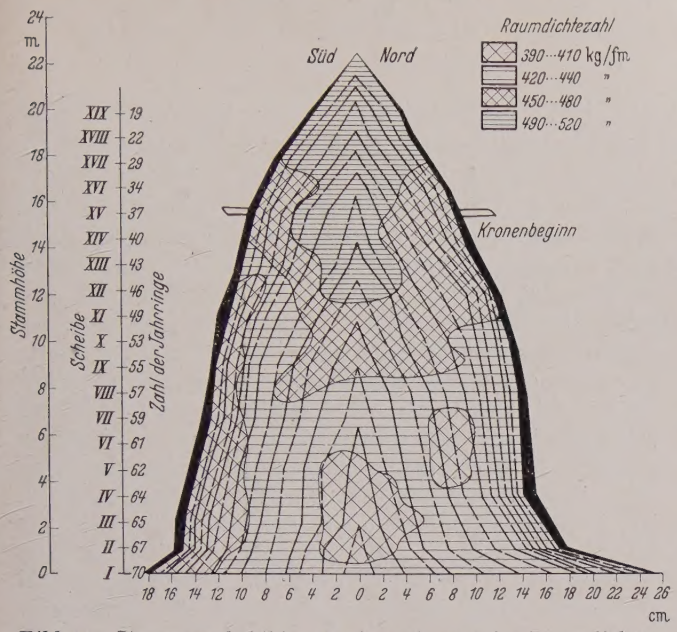

Bild 10. Stammwuchsbild mit Einzeichnung der Raumdichtezahl von Erle 4 aus Dießen. (Längsschnitt in Nordsüdrichtung.)

4. Mittelwert, Schwankungsbreite und Häufigkeit von Rohwichte und Raumdichtezahl.

Mit der Angabe von Rohwichte-Mittelwerten wie bei früheren Untersuchungen ist sehr wenig gedient. Innerhalb derselben Holzart treten oft so große Schwankungen auf, daß mit einfachen Durchschnittzahlen kaum gerechnet werden kann. Die Darstellung erfolgt daher am anschaulichsten durch Häufigkeitskurven, für die Stufen von je 0,02 g/cm³ bzw. 20 kg/fm gewählt wurden.

Bild 11 bringt die Kurven für die Raumdichtezahl, die eine regelmäßigere Form und eine kleinere Streuungsbreite

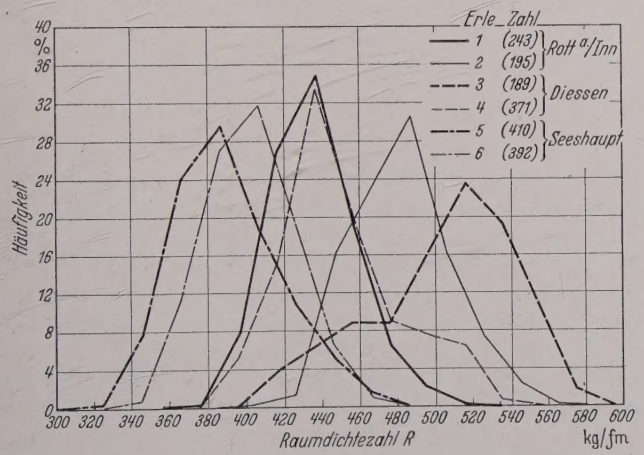

Bild 11. Häufigkeitskurven der Raumdichtezahl bei 6 Erlen.

haben als die Kurven für die Rohwichte r_0. Auffällig ist es, daß die einzelnen Stämme verschieden sind, daß sich ihre Häufigkeitskurven nur wenig überschneiden.

Bildet man aus sämtlichen Proben aller Stämme eine Gesamtkurve, so zeigt sie eine sehr große Streuungsbreite: Der niedrigste Wert von 320 kg/fm ist zu 2 %, der häufigste Wert von 430 kg/fm zu 10,3 % und der Höchstwert von 580 kg/fm zu 1,6 % vertreten. (Der Mindestwert der Rohwichte beträgt 0,38, der Höchstwert 0,68 g/cm³.)

Stämme mit schwerem Holz besitzen eine größere Breitenstreuung als solche mit leichtem. Arithmetisches Mittel und Dichtemittel (häufigster Wert) liegen nahe beisammen oder fallen oft auch zusammen.

Die große Streuungsbreite der Rohwichte ist bemerkenswert, da an sich aus dem gleichmäßigen zerstreutporigen Bau des mittelschweren Holzes auf weit größere Gleichmäßigkeit zu schließen ist. Es scheint aber, daß es sich gerade bei dieser Gewichtsstreuung um Arteigentümlichkeiten handelt. Die Erle ist auf jeden Fall befähigt, Holz von sehr unterschiedlichem Gewicht zu bilden.

Deutlich zeigt sich dies in der Gegenüberstellung der Mittelwerte für die einzelnen Stämme (Zahlentafel 6).

Zahlentafel 6.
Mittelwerte von Raumdichtezahl und Rohwichte.

Erle Stamm	1	2	3	4	5	6	7	Mittel
Zahl der Proben . .	243	195	189	371	410	392	56	1856
Raumdichtezahl kg/fm	435	480	504	448	390	402	404	437
Rohwichte r_0 g/cm³	0,507	0,566	0,596	0,516	0,452	0,465	0,455	0,508

Im Durchschnittsgewicht steht die Erle also der Kiefer nahe; sie ist leichter als die Birke, schwerer als Pappel, Fichte und Tanne. Einzelstämme schwanken im Gewicht sehr stark; Stamm 5, 6 und 7 haben i. D. dem Fichtenholz gleiche Gewichte, Stamm 2 und 4 stehen im Gewicht Ulmen- oder Lärchenholz gleich und Stamm 3 hat ein Durchschnittsgewicht wie Birken- oder gar Nußbaumholz.

Bemerkenswert ist bei diesen Zahlen einmal die Tatsache, daß der schmalkronige mitherrschende Stamm 2 schwereres Holz erzeugte als der großkronige Stamm 1 vom gleichen Standort. Hierin ähnelt die Erle der Fichte, bei der auch unterdrückte oder mitherrschende Stämme bei gleichem Alter und gleichem Standort schwereres Holz haben als herrschende.

Es soll nun noch versucht werden, eine Begründung für die starken Unterschiede im mittleren Holzgewicht zu finden. Hierzu geht man am besten von den Grenzwerten aus: Erle 3 aus Dießen hat weitaus das schwerste Holz, wogegen die 3 Stämme aus Seeshaupt durchschnittlich um 100 kg/fm leichteres Holz aufweisen. Erle 3 stockte auf einem sehr guten Standort, auf dem auch bereits Eschen in Mischung mit der Erle wuchsen. Man kann den Standort „anbrüchig" (in Norddeutschland „lehmbrüchig") nennen; der Kalkgehalt ist genügend, die Wasserführung gut. Die Erlen von Seeshaupt stockten auf Boden mit stagnierendem Wasser und niedrigem Säuregrad bzw. alkalischer Reaktion. Der hohe Wassergehalt des Bodens muß wohl in erster Linie für das niedrige Holzgewicht verantwortlich gemacht werden. Dies zeigt sich auch darin, daß eine Fichte (Stamm 21) die in nächster Nähe von Erle 5 gefällt wurde, gleichfalls für Fichte außergewöhnlich leichtes Holz bildete. Scheibe III in 2,3 m Höhe hatte nur eine Raumdichtezahl von 314 kg/fm, Scheibe X eine solche von 297 kg/fm. Diese Werte liegen um 80...90 kg/fm unter dem Mittelwert für Fichte, der nach Trendelenburg (1939) zu 390 bis 400 kg/fm anzunehmen ist. So leichtes Holz wird sonst kaum unter klimatisch ungünstigsten Verhältnissen gebildet. Auch bei anderen Holzarten findet sich dieses Sinken der Rohwichte auf nassem Boden.

Erle 4 und Erle 1 sind mittelschwer, etwa dem Durchschnitt entsprechend; auch ihr Standort nimmt eine Mittelstellung ein (Erle 2 ist hier wegen ihrer kleinen Krone nicht voll vergleichsfähig). Das Klima weist in dem Untersuchungsgebiet keine großen Unterschiede auf, weshalb wir es hier mit reinen Bodenauswirkungen zu tun haben.

Freilich darf für die Verwertung das leichte Holz durchaus nicht als minderwertig angesehen werden; für gewisse Verwendungsweisen, z. B. auch die Bleistiftherstellung, wird die gute Bearbeitbarkeit und das geringe Schwinden dieses Holzes besonders vorteilhaft sein. Die Seeshaupter Erle wird ferner für feine Fräsarbeiten bevorzugt gekauft.

E. Schwindmaß des Erlenholzes.

Für die technische Verarbeitung und Verwendung des Holzes ist das Schwinden von größter Bedeutung. Janka (1915) bestimmte die Flächenschwindung vom lufttrockenen zum völlig trockenen Zustand und reihte die Schwarzerle in die mäßig schwindenden Hölzer ein; er fand bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 14,3% eine Schwindzahl von 0,45, den gleichen Wert wie für Walnuß, Bergahorn und Tulpenbaum. Zur gleichen Gruppe gehören dann noch — mit etwas höheren Schwindzahlen — Linde, Eiche, Fichte, Birke, Okumé und andere Hölzer. Nach Fabricius (1935) beträgt die Schwindung vom grünen zum lufttrockenen Zustand für die Schwarzerle 5,8%.

Bei meinen Untersuchungen wurde das Schwindmaß vom frischen zum völlig trockenen Zustand bestimmt, das für wissenschaftliche Zwecke allein geeignet ist und einen guten Vergleich der einzelnen Hölzer gestattet. Die Zahlen sind aber auch für den praktischen Gebrauch verwendbar, da das Schwindmaß in geradlinigem Zusammenhang mit der Feuchtigkeitsänderung steht.

Die Längenschwindmaße wurden für 5 Erlen an insgesamt 723 Proben ermittelt, hierzu wurden die Scheiben II, IV, VI usw. durch die ganze Stammlänge hin genommen. Trotz der kleineren Probenzahl ergibt sich für die Raumdichtezahl praktisch derselbe Wert wie bei der Mittelbildung aus sämtlichen Proben, vgl. Zahlentafel 6. Das Raumschwindmaß konnte ferner aus den Werten von R und r_0 der 1856 Proben aller Stämme ermittelt werden. In der Reihenfolge der Raumdichtezahl sind die Stämme mit den mittleren Ergebnissen in Zahlentafel 7 aufgeführt.

Die Längsschwindung von Erlenholz ist ziemlich groß, und zwar bei dem leichten Holz verhältnismäßig am größten, was mit den Befunden bei anderen Hölzern übereinstimmt. Das Tangentialschwindmaß ist im Durchschnitt über doppelt so groß als das radiale; bei den einzelnen Stämmen schwankt das Verhältnis $\alpha_t : \alpha_r$ zwischen 1,96 und 2,62. Die Stämme mit leichtem und mittelschwerem Holz stehen hier an der Spitze; bei ihnen ist also der Unterschied zwischen radialem und tangentialem Schwindmaß besonders groß. Ob es sich dabei um eine allgemein gültige Erscheinung handelt, läßt sich nicht sicher sagen, da sie bei Erle 7 mit gleichfalls leichtem Holz nicht beobachtet werden konnte. Immerhin steht sie in Einklang mit dem von Mörath (1932) gefundenen Gesetz, daß im großen Durchschnitt zahlreicher Holzarten mit zunehmender Rohwichte der Unterschied zwischen radialem und tangentialem Schwindmaß kleiner wird. Dieser Verf. gibt für Laubhölzer mit der Rohwichte r_0 0,4...0,5 g/cm³ den Wert $\alpha_t : \alpha_r = 1{,}92$ an.

Das Raumschwindmaß wurde nach der Gleichung $\alpha_v = \alpha_l + \alpha_r + \alpha_t - \frac{\alpha_t \cdot \alpha_r}{100}$ berechnet; es liegt im Durchschnitt der Einzelstämme zwischen 13,3 und 15,6%.

Durch die Beziehungen zwischen Raumschwindmaß und Raumdichtezahl $\alpha_v = u_F \cdot R$, $u_F = \frac{\alpha_v}{R}$ (wobei u_F = Feuchtigkeitsgehalt bei Fasersättigung) läßt sich die Höhe des Schwindmaßes am besten beurteilen (Trendelenburg 1939). Für Erlenholz wurde als Durchschnitt berechnet: $\alpha_v = 32{,}5 \cdot R$. Da für den Durchschnitt deutscher Hölzer $\alpha_v = 28 \cdot R$ gilt, gehört Erlenholz zu den verhältnismäßig stark schwindenden Hölzern. Bei den einzelnen Stämmen schwankt u_F zwischen 30 und 35.

Auch für radiale und tangentiale Schwindung wurde das Verhältnis des Schwindmaßes zur Raumdichtezahl in Zahlentafel 7 angeführt. Dabei zeigt sich, daß die Stämme 5 und 6 mit leichtem Holz besonders in der tangentialen Richtung verhältnismäßig stark schwinden, wodurch sie auch einen hohen Wert für $\alpha_t : \alpha_r$ erhalten. Aufschlußreich ist ein Vergleich mit den Durchschnittswerten, die von Newlin und Wilson für amerikanische Hölzer ermittelt wurden: $\alpha_t = 17{,}0 \cdot R$, $\alpha_r = 9{,}5 \cdot R$. Erlenholz hat also ein deutlich höheres tangentiales aber ein etwa gleich hohes radiales Schwindmaß als der Durchschnitt amerikanischer Hölzer.

Weiterhin wurde untersucht, ob und wie sich die Holzschwindung innerhalb des Einzelstammes verändert. Wie zu erwarten, ergab sich aber nur eine gesetzmäßige Beziehung zur Raumdichtezahl. Bei einigen Stämmen war u_F durch die ganze Stammlänge recht gleichmäßig. Bemerkenswert ist auch, daß das Verhältnis $\alpha_t : \alpha_r$ für den Stamm von unten bis in die Kronengegend gleich bleibt. Im Holz der Kronengegend schwindet das Holz oft verhältnismäßig wenig und nicht so regelmäßig. Bei Erle 6 liegt das Verhältnis $\alpha_t : \alpha_r$ beispielsweise zwischen 2,5 und 2,7, bei Erle 3 aber nur zwischen 2,1 und 2,3. Diese Verschiedenheit im Schwindmaß muß durch Gefügeeigenheiten der Einzelstämme bedingt sein.

Das Längsschwindmaß ist unten im Stamm in den Zonen des leichten Holzes deutlich größer als weiter oben.

F. Festigkeitseigenschaften des Erlenholzes.

Für den wissenschaftlichen Vergleich mit anderen Holzarten eignet sich die Festigkeit des Holzes im frischen Zustand besonders gut, da hier Unterschiede im Feuchtigkeitsgrad belanglos sind und da durch die Vorgänge bei der Trocknung keine Schädigung des Holzes hervorgerufen worden ist. Für die praktische Verwendung spielt die Frischfestigkeit nur bei Erd- und Wasserbauten bzw. bei der Bearbeitung gedämpften Holzes eine Rolle, weshalb auch Versuche in zimmertrockenem Zustand durchgeführt wurden.

Bei Ausformung der Versuchskörper wurde auf Geradfaserigkeit und Fehlerfreiheit geachtet; für jede Probe wurden Feuchtigkeitsgehalt, Raumdichtezahl und Rohwichte, vielfach auch die Jahrringbreite bestimmt. Maß-

Zahlentafel 7. Schwindmaß und Raumdichtezahl von Erlenholz.

Stamm	Zahl der Proben	Raumdichtezahl kg/fm	α_l	α_r	α_t	$\frac{\alpha_t}{\alpha_r}$	α_v	$\frac{\alpha_r}{R}$	$\frac{\alpha_t}{R}$	$u_F = \frac{\alpha_v}{R}$
Erle 5	184	389	0,56	4,04	9,53	2,36	13,74	10,4	24,5	35,3
Erle 6	176	403	0,51	3,65	9,57	2,62	13,38	9,1	23,7	33,2
Erle 4	159	446	0,36	3,81	9,52	2,50	13,33	8,6	21,3	29,9
Erle 2	126	484	0,58	5,28	10,33	1,96	15,64	10,9	21,4	32,3
Erle 3	79	505	0,35	4,94	10,76	2,18	15,52	9,8	21,3	30,8
Erle 2...6	723	434	0,49	4,21	9,81	2,33	14,10	9,7	22,6	32,5

gebend für die Probenform waren die DIN-Normen; kleinere Abweichungen wurden aus Zweckmäßigkeitsgründen bei der Form der Zugstäbe vorgenommen. Zwei Abschnitte für Festigkeitsproben wurden jedem Stamm aus einer Höhe von je 2...3, bzw. 8...12 m entnommen. Bei Auswertung der Prüfungen zeigte sich eine ziemlich starke Streuung, die wohl darauf zurückzuführen ist, daß es sich vorwiegend um jüngere Stämme handelte, die im Innern recht astig waren. Obgleich bei Herstellung der Proben Aststellen stets gemieden wurden, läßt sich eine gewisse Auswirkung auf den Faserverlauf schwer umgehen, zumal die Jahrringe bei Erle nur sehr undeutlich ausgeprägt sind. Versteckte Zugholzbildung ist gleichfalls für die Streuung mit verantwortlich zu machen. Bei dem schwachen Stamm 2 aus Dießen mußten die meisten Festigkeitsversuche wegen solcher Unregelmäßigkeiten später ausgeschieden werden.

Die frischen Proben lassen sich ohne weiteres miteinander vergleichen, die zimmertrockenen wurden bei 8 bis 11 % Feuchtigkeit geprüft, dann aber bei den Druck- und Biegeversuchen einheitlich auf 12 % Feuchtigkeit umgerechnet (6 % Festigkeitsabnahme je 1 % Feuchtigkeitszunahme bei der Druckfestigkeit, 4 % bei der Biegefestigkeit und 2 % beim Elastizitätsmodul).

1. Druckfestigkeit parallel der Faser.

Die wichtigsten Ergebnisse der Prüfung frischen Holzes finden sich in Zahlentafel 8, in der die Stämme nach steigender Raumdichtezahl geordnet sind.

Zahlentafel 8. Druckfestigkeit von Erlenholz im frischen Zustand.

Stamm	Zahl der Proben	Feuchtigkeit u %	Raumdichtezahl R kg/fm	Rohwichte γ_0 g/cm³	Druckfestigkeit $\sigma_{d\,B\,u}$ kg/cm²	Stauchlänge $\frac{\sigma_{d\,B\,u}}{100 \cdot \gamma_u}$ km
5	9	146	367	0,424	176	1,95
6	8	116	399	0,459	208	2,41
7	10	113	404	0,455	213	2,49
1	12	121	421	0,481	227	2,44
4	14	112	430	0,497	235	2,59
3	7	93	485	0,559	288	3,06
1...7	60	118	417	0,477	229 157...343	2,52

Es ergibt sich also ein starkes Steigen der Druckfestigkeit mit zunehmender Rohwichte; dieser Anstieg verläuft steiler als der des Gewichtes selbst. Besonders deutlich äußert sich das in den Werten der Stauchlänge, die von 1,95 km beim leichtesten auf 3,06 km beim schwersten Holz steigt. Die Stauchlänge hängt noch vom Feuchtigkeitsgehalt des Holzes ab; bildet man das Verhältnis Druckfestigkeit : Raumdichtezahl, so erhält man aber dasselbe Ergebnis (4,8 beim leichtesten, 5,9 beim schwersten Holz).

Die lufttrockenen Proben wurden wie erwähnt einzeln auf 12 % Feuchtigkeit umgerechnet. Damit ist eine gewisse Unsicherheit verbunden, da nicht erwiesen ist, daß auch bei Erlenholz die Festigkeitsabnahme je 1 % Feuchtigkeitszunahme 6 % beträgt. Zahlentafel 9 enthält die Ergebnisse.

Die lufttrockenen Proben zeigen ein übereinstimmendes Bild; auch hier sind die schwereren Proben verhältnismäßig druckfester. Die Festigkeitssteigerung vom frischen Zustand auf den von 12 % beträgt 90 %. Rechnet man mit einer Fasersättigungsfeuchtigkeit von 30 %, so entspricht dies etwa einer Festigkeitszunahme von 5 % je 1 % Feuchtigkeitsabnahme.

Zahlentafel 9. Druckfestigkeit von Erlenholz in lufttrockenem Zustand (12% Feuchtigkeit).

Stamm	Zahl der Proben	Rohwichte γ_0 g/cm³	Druckfestigkeit $\sigma_{d\,B_{12}}$ kg/cm²
6	8	0,458	387
5	11	0,461	358
4	13	0,506	424
1	12	0,511	455
2	4	0,561	503
3	5	0,618	575
1...6	53	0,505	437 266...697

2. Biegefestigkeit.

Die Biegeversuche wurden an Stäben mit quadratischem Querschnitt (Seitenlänge 3 cm) von 52 cm Länge bei 48 cm Stützweite mit Mittellast vorgenommen.

Auch bei den Biegeversuchen ist der Festigkeitsanstieg mit zunehmendem Gewicht in Anbetracht der kleineren Probenzahl recht gleichmäßig. Besonders stark nimmt der Elastizitätsmodul zu. Druck- und Biegefestigkeit verhalten sich im Durchschnitt ungefähr wie 1:2 (Zahlentafel 10).

Zahlentafel 10. Biegefestigkeit von frischem Erlenholz.

Stamm	Zahl der Proben	Feuchtigkeit u %	Raumdichtezahl R kg/fm	Rohwichte γ_0 g/cm³	Biegefestigkeit $\sigma_{b\,B\,u}$ kg/cm²	Elastiz.-Modul E kg/cm²
5	7	146	367	0,422	378	68000
6	5	117	401	0,459	443	84000
1	8	126	410	0,465	470	88000
4	13	112	429	0,495	485	89000
3	3	92	488	0,583	481	118000
1...6	36	119	414	0,477	454	85000

Durch die Trocknung werden die Eigenschaften gleichmäßig erhöht, und zwar verhältnismäßig etwas weniger als die Druckfestigkeit (Zahlentafel 11).

Zahlentafel 11. Biegefestigkeit von lufttrockenem Erlenholz (u = 12%).

Stamm	Zahl der Proben	Rohwichte γ_0 g/cm³	Biegefestigkeit $\sigma_{b\,B_{12}}$ kg/cm²	Elastiz.-Modul E kg/cm²
5	8	0,454	651	93000
6	5	0,456	655	96000
4	12	0,503	794	120000
1	11	0,508	892	108000
2	3	0,570	885	122000
3	4	0,618	1056	138000
1...6	43	0,519	785	101000

3. Zugfestigkeit.

Von den Zugproben mußten besonders viele ausgeschieden werden, da der Faserverlauf nicht auf genügender Länge einwandfrei war.

Im frischen Zustand liegt die Zugfestigkeit zwischen 534 und 1189 kg/cm²; dieser starke Unterschied wird durch die Rohwichte-Verschiedenheit hervorgerufen. Die Proben der leichten Stämme 5 und 6 erreichten nicht über 625 kg/cm², die des schwersten Stammes 3 liegen z. T. bei 1000 bis 1200 kg/cm². Die Reißlänge (Zugfestigkeit: Rohwichte) ist bei dem schwersten Holz um etwa 25 % höher als bei dem leichten. Das schwere Holz hat also nicht nur absolut, sondern auch verhältnismäßig eine höhere Zugfestigkeit als das leichte.

Die lufttrockenen Proben hatten sehr gleichmäßige Feuchtigkeit, die nur zwischen 9,1 und 11,3 % schwankte. Es erübrigte sich daher eine Umrechnung der Festigkeitswerte auf gleiche Feuchtigkeit, zumal hierfür keine sicheren Unterlagen vorliegen. Die Festigkeitssteigerung durch die

Trocknung ist nicht groß, nur etwa 30 % (Zahlentafel 12). Rechnet man mit einer Fasersättigungsfeuchtigkeit von rund 30 %, so errechnet sich hieraus eine Festigkeitssteigerung von 1,5 % je 1 % Feuchtigkeitsminderung. Die gleiche Zahl wurde in den Vereinigten Staaten für die Änderung der Zugfestigkeit senkrecht zur Faser errechnet.

Zahlentafel 12. Die Zugfestigkeit von Erlenholz.

Zahl der Proben	Feuchtigkeit %	Raumdichtezahl R kg/fm	Rohwichte r_0 g/cm³	Zugfestigkeit $\sigma_{z\,B}$ kg/cm²	Reißlänge km
21	44,3	416	0,494	717	11,9
27	10,3	—	0,509	936	∞17,7

Weiter ist das Verhältnis von Druck- und Zugfestigkeit zu erwähnen. Im frischen Zustand ist die Zugfestigkeit 3 bis 3,5mal so groß wie die Druckfestigkeit. Dies Verhältnis verschiebt sich mit zunehmender Austrocknung erheblich zugunsten der Druckfestigkeit; die Zugfestigkeit ist bei etwa 10 % Feuchtigkeit nur noch knapp doppelt so groß wie die Druckfestigkeit.

4. Bruchschlagarbeit.

Die Bruchschlagarbeit wurde an Stäben gemäß DIN DVM 2189 mit einem 25 mkg Pendelhammer ermittelt. Der Schlag erfolgte tangential zu den Jahrringen. Die Bruchschlagarbeit nimmt insofern eine Sonderstellung unter den verschiedenen Festigkeitsarten ein, als sie mit zunehmender Feuchtigkeit nicht abnimmt, sondern gleich bleibt oder sogar ansteigt. Bei der Erle überschneiden sich die Streuungsbereiche sämtlicher Proben bei 111 % und bei rund 8 % Feuchtigkeit vollständig. Die Häufigkeitskurven auf Bild 12 zeigen dies. Die teilweise sehr niedrigen Werte der Bruchschlagarbeit stammen stets von den dem

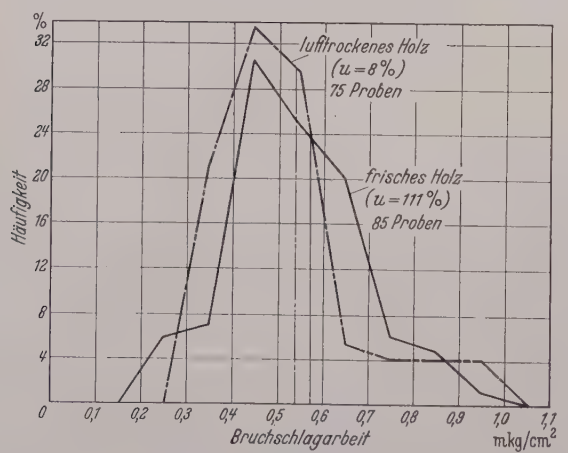

Bild 12. Häufigkeitskurven der Bruchschlagarbeit von frischem und lufttrockenem Erlenholz.

Mark unmittelbar benachbarten Proben, die z. T. zumal in den unteren Stammteilen bereits von Pilzen irgendwie beeinträchtigt waren, wenn sich dies äußerlich auch nicht feststellen ließ. Läßt man diese Werte weg, so ergibt sich als Mittelwert für die frischen Proben 0,596 statt 0,576 mkg/cm², für die trockenen 0,565 statt 0,529 mkg/cm² (r_0 = 0,504 bzw. 0,505 g/cm³). Im Durchschnitt ist also die Bruchschlagarbeit bei frischem Erlenholz um ein geringes größer als bei zimmertrockenem Holz. Die Streuung der Einzelwerte ist noch größer als man es an sich bei der Schlagbiegeprüfung gewohnt ist. Dies ist z. T. darauf zurückzuführen, daß es sich um junge Stämme handelte, deren Faserverlauf im Innern unregelmäßig ist. Bei der undeutlichen Ringbegrenzung ist das Herausarbeiten völlig geradfaseriger Proben bei jungem astigem Holz kaum möglich.

5. Spaltfestigkeit.

Die Spaltfestigkeit wurde an Probekörpern nach Nördlinger in tangentialen Ebenen geprüft (Dicke etwa 2,2 cm, Spaltlänge etwa 11 cm, Spaltfläche also rund 25 cm²).

Bezieht man die Werte der Höchstlast auf die ganze Spaltfläche, so ergeben sich die in Zahlentafel 13 enthaltenen Werte.

Zahlentafel 13.
Spaltfestigkeit (kg/cm²) von Erlenholz.

	Feuchtigkeit %	Raumdichtezahl kg/fm	Rohwichte r_0 g/cm³	Spaltfestigkeit kg/cm²
Frisch . .	89	430	0,498	2,2
Lufttrocken	9,5	—	0,501	3,6

Da die Spaltfestigkeit bei etwa 10 % Feuchtigkeit nach Stoy (1933) ihren höchsten Wert erreicht, ist das Verhältnis von Frischfestigkeit zu höchster Trockenfestigkeit bei der Erle = 1 : 1,6. Bezieht man die Höchstlast beim Spaltversuch nur auf die Probenbreite, was folgerichtiger erscheint, so ergeben sich die in Zahlentafel 14 enthaltenen Werte.

Zahlentafel 14.
Spaltfestigkeit (kg/cm) von Erlenholz.

Erle	Feuchtigkeit %	Raumdichtezahl kg/fm	Rohwichte r_0 g/cm³	Spaltfestigkeit kg/cm	Feuchtigkeit %	Rohwichte r_0 g/cm³	Spaltfestigkeit kg/cm
1	113	435	0,507	28,1	9,5	0,503	44,2
2	—	—	—	—	9,2	0,476	40,8
3	76	503	0,589	28,1	10,0	0,596	43,0
4	84	433	0,502	27,6	9,9	0,493	39,9
5	87	394	0,436	22,4	9,3	0,457	38,1
6	86	398	0,458	20,9	9,3	0,481	39,3
	89	430	0,498	25,0	9,5	0,501	40,1
Schwankung				(16,8...31,9)			(31,9...49,8)

Ähnlich wie dies bei anderen Holzarten bekannt ist, konnte auch bei der Erle kein klarer Zusammenhang zwischen Spaltfestigkeit und Rohwichte festgestellt werden. Die Erle gehört nach einer Übersicht bei Kollmann (1936) zu den leicht spaltbaren Hölzern.

6. Brinellhärte.

Die Feststellung der Holzhärte scheint bei der Erle insofern wichtig zu sein, als beim Schälen z. B. neben der Spaltbarkeit gerade auch die Holzhärte von Einfluß ist. Die Ausführung der Härteprobe ist noch umstritten; hier wurde das Brinellverfahren gewählt. Bei der Endhärte des darrtrockenen Holzes wurde eine Belastung von 50 kg, sonst eine solche von 10 kg, aufgebracht. Nachdem die Last in etwa 15 s erreicht worden war, wurde sie 30 s aufrechterhalten. Die Härte wurde an Erle 7 an 192 Würfeln in je 3 Einzeleindrücken je Einzelwert ermittelt. Die lufttrockenen Proben hatten eine durchschnittliche Feuchtigkeit von 20 % (Zahlentafel 15).

Zahlentafel 15. Brinellhärte von Erlenholz (Erle 7).
(R = 404 kg/fm, r_0 = 0,455 g/cm³.)

	Hirnfläche kg/mm²	radiale Seitenfläche kg/mm²	tangentiale Seitenfläche kg/mm²
Frisch	1,36	0,63	0,78
Lufttrocken	3,26	0,70	0,81
Darrtrocken	5,25	1,08	1,34

Bemerkenswert ist an diesen Zahlen einmal der Einfluß der Austrocknung auf die Holzhärte. Das Verhältnis der Festigkeit frisch : lufttrocken : darrtrocken ist bei der Endhärte 1 : 2,40 : 3,86, bei der Tangentialhärte 1 : 1,04 : 1,72 und bei der Radialhärte 1 : 1,11 : 1,71. Die Endhärte steigt also mit dem Trockenwerden des Holzes fast auf das 4fache, die Seitenhärte nicht einmal auf das doppelte, auf beiden Flächen aber gleichmäßig an.

Weiter ergibt sich aus der Übersicht das Verhältnis der Härten der Einzelflächen zueinander: Radial : Tangential : Endhärte verhalten sich im frischen Zustand wie 1 : 1,24 : 2,16, im darrtrockenen wie 1 : 1,24 : 4,86. Die Härte der Tangentialfläche ist also bei nassem wie trockenem Holz etwa 20 bis 25 % größer als die der radialen Fläche, während die Endhärte je nach dem Feuchtigkeitsgrad 200 bis fast 500 % größer als die radiale Härte sein kann.

Mörath (1932) hat für Schwarzerle bei 15 % Feuchtigkeit und r_0 = 0,513 als Endhärte 3,8, Radialhärte 1,6 und Tan-

gentialhärte 1,7 kg/mm² angegeben. Da es sich um wesentlich schwereres Holz als bei Erle 7 handelt, ist der Unterschied zumal bei der Seitenhärte erklärlich.

G. Vergleich von Erlenholz mit anderen Hölzern und zusammenfassende Übersicht über die Eigenschaften des Erlenholzes.

In Zahlentafel 16 werden die mittleren Eigenschaftswerte für Erlenholz im frischen und lufttrockenen Zustand noch einmal zusammengestellt, um Vergleiche mit anderen Holzarten zu erleichtern. Gegenübergestellt sind diesen Werten einmal die für Rotbuche in frischem Zustand, die von Größler nach demselben Verfahren gewonnen wurden. Es zeigt sich, daß wichtige Festigkeitseigenschaften durchaus nicht einfach der Rohwichte gleichlaufen. Die Erle hat beispielsweise eine verhältnismäßig hohe Druck-, Zug- und Biegefestigkeit, dagegen weist sie weit kleinere Werte der Bruchschlagarbeit auf, ihr Holz ist also als ziemlich spröde zu bezeichnen. Auch das Verhältnis $\alpha_r : \alpha_t$ ist bei Erlenholz etwas ungünstiger als bei Buchenholz. Erlenholz ist weiterhin auch im Verhältnis zu seinem Gewicht, nicht nur absolut viel weicher als Buchenholz, was für Verwendungsweisen, bei denen es auf leichte Bearbeitbarkeit ankommt, günstig ist. Die Abnutzung ist dementsprechend verhältnismäßig groß; Erlenholz : Buchenholz = nach Kollmann = 0,3 : 1.

Zahlentafel 16. Festigkeitseigenschaften von Erlen-, Buchen- und Okuméholz.

Holzart	Herkunft	Feuchtigkeit	Raumdichtezahl kg/fm	Rohwichte g/cm³	Schwindmaße α_r %	α_t %	$\frac{\alpha_t}{\alpha_r}$ %	α_v %	$\frac{\alpha_v}{R}$ %	Elastiz.-Modul kg/cm²	Druckfestigkeit kg/cm²	Zugfestigkeit kg/cm²	Biegefestigkeit kg/cm²	Bruchschlagarbeit cmkg/cm²	$\frac{\text{Druckfestigkeit}}{\text{Raumdichtezahl}}$
Alnus glutinosa	Oberbayern	frisch	437	0,508	4,2	9,8	2,3	14,1	32,5	85000	229	717	454	0,596	5,5
		12%	—	0,508	—	—	—	—	—	101000	437	936	785	0,565	—
Fagus silvatica	Gebirge (Größler)	frisch	543	0,650	5,6	11,3	2,0	16,5	30,4	96400	267	986	595	1,028	4,9
Alnus rubra	Washington, USA. (Markwardt-Wilson)	frisch	370	0,430	4,4	7,3	1,7	12,6	29,3	82000	208	—	457	—	5,6
	Britisch-Columbien, Canada (McElhanney)	frisch	380	0,430	4,2	7,0	1,7	11,6	30,5	84400	212		443		5,6
Aucoumea Klaineana	Westafrika (Trendelenburg)	frisch	363	0,405	4,1	6,6	1,6	10,4	28,7	79000	213		433	0,700	5,9
	Westafrika (Collardet und Reichs-Kolonial-Institut)	15%	—	r_{15} 0,450	—	—	—	10,7	—	—	340		640	0,360	—

Ein Vergleich mit Alnus rubra aus Nordamerika und Kanada ist gleichfalls aufschlußreich; er zeigt, daß unser Erlenholz schwerer ist, demgemäß auch härter und mehr schwindend, daß beide Hölzer aber durch die hohe Druckfestigkeit (hohe Stauchlänge) ausgezeichnet sind. Auch sonst sind die Festigkeitswerte unter sich sehr ähnlich.

Die Veröffentlichung von Markwardt-Wilson (1935) ermöglicht weiter den Vergleich mit zahlreichen anderen Laubhölzern; erwähnt sei hier nur, daß die Erle durch ihre hohe Gütezahl aus den übrigen hervorsticht. Das Verhältnis $\alpha_r : \alpha_t$ ist bei Erlenholz günstiger als bei Weide und Pappel, ähnlich wie bei Roßkastanie, Buche und Esche, ungünstiger als bei Birke oder Linde.

Schließlich sei noch hingewiesen auf die Eigenschaften des Okuméholzes, für das die Erle in vielen Verwendungsweisen gut eintreten könnte. Erlenholz ist im Durchschnitt zwar rund 20% schwerer, doch ist leicht zu ersehen, daß Stämme bestimmter Standorte (z. B. Erle 5, 6 und 7) fast dieselbe Raumdichtezahl aufweisen wie Okuméholz. Das tangentiale Schwindmaß ist bei Erlenholz größer als beim Okuméholz, während das radiale Schwindmaß gleich groß ist. Ähnlich ist bei beiden Holzarten das Verhältnis von Druckfestigkeit und Rohwichte. Die Bruchschlagarbeit der Erle ist im trockenen Zustand größer, im frischen etwas kleiner als die von Okumé.

Die Erle bietet nun, dank der großen Verschiedenheit des Holzes von Stämmen verschiedener Standorte, durchaus die Möglichkeit, für bestimmte Verwendungszwecke besonders geeignete Ware auszulesen, z. B. besonders leichtes, wenig schwindendes und weiches Holz. Für andere Zwecke kann ein dem Birkenholz ähnliches Holz erzielt werden. Die Nachzucht von Erle auf allen für sie geeigneten Standorten erscheint auch aus diesem Grunde in jeder Hinsicht wünschenswert.

Schrifttum.

R. Baumann, Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Berlin 1922. — I. Collardet, 1931, Etude physique et mécanique des bois coloniaux. Comité National des bois coloniaux. Paris. — K. L. Escherich, Die Braunfleckigkeit der Laubhölzer und ihre Erreger. Forstwiss. Zbl. Bd. 60 (1938) S. 693. — K. Gayer u. L. Fabricius, Die Forstbenutzung. 13. Aufl. Berlin 1935. — O. Graf, Über die Abnahme und Prüfung der Hölzer. Forstarch. Bd. 5 (1929) S. 237. — W. Größler, Über Raumgewicht und Holzeigenschaften einiger Rotbuchen aus dem Hochgebirge. Diss. Univ. München 1939. — E. Hägglund, Holzchemie. 2. Aufl. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1939. — B. Haller, Untersuchungen über den Wachstumsgang der Schwarzerle (Alnus glutinosa Gaert.) Tartu: Forstwiss. Abt. der Universität 1932. — G. Janka, Die Härte der Hölzer. Mitt. Forstl. Versuchsw. Österreichs Bd. 39 (1915) S. 1. — J. König u. E. Becker, Die Bestandteile des Holzes und ihre wirtschaftliche Verwertung. Z. angew. Chem. Bd. 32 (1919) S. 155. — F. Kollmann, Technologie des Holzes. Berlin: Julius Springer 1936. — O. Lau, Bodenkundlich-standörtliche Untersuchungen über forstliche Weichböden im bayerischen Voralpengebiet unter besonderer Berücksichtigung der Aziditätsverhältnisse. Diss. Univ. München 1933. — L. J. Markwardt u. T. R. C. Wilson, Strength and related properties of woods grown in the United States. Techn. Bull. Nr 479, U.S.D.A. Washington 1935. — P. Martell, Über Erlenholz. Silva Bd. 14 (1926) S. 125. — T. A. McElhanney u. Associates, Canadian woods; their properties and uses. Ottawa: Dep. of the Interior, Canada 1935. — E. Mörath, Studien über die hygroskopischen Eigenschaften und die Härte der Hölzer. Mitt. d. Holzforschungsstelle a. d. T. H. Darmstadt Heft 1 (1932). — E. Münch, Das Erlensterben. Forstwiss. Zbl. Bd. 58 (1936)

S. 173. — F. W. Neger, Die Rötung des frischen Erlenholzes. Naturwiss. Z. Forst- u. Landwirtsch. Bd. 9 (1911) S. 96. — H. Nördlinger, Die gewerblichen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart: I. G. Cotta 1890. — H. Paul, Pflanzengeographische Durchforschung von Bayern. Die Moorpflanzen Bayerns. Bayer. Bot. Ges., Ber. 12 (1910) S. 136. — C. G. Schwalbe, Die Chemie der Zellulose unter besonderer Berücksichtigung der Spinnfaser- und Zellstoffindustrie. 2. Aufl. 1. Hälfte, I. Abt. Berlin: Gebrüder Bornträger 1938. — C. G. Schwalbe u. E. Becker, Die chemische Zusammensetzung des Erlenholzes. Z. angew. Chem. Bd. 33 Ausg. C (1920) S. 14. — W. Stoy u. E. Seidel, Holz-Nagelbau, Schrift 6, Arbeitsgemeinschaft Holz. Berlin 1933. — R. Trendelenburg, Untersuchungen über das Raumgewicht der Nadelhölzer. Tharandt. Forstl. Jb. Bd. 85 (1934) S. 649. — Derselbe, Die Eigenschaften des Holzes und ihre Erforschung. Bayerland Bd. 47 (1936) S. 513. — Derselbe, Aufbau und Eigenschaften des Fichtenholzes und anderer Zellstoffhölzer. Papierfabrikant Bd. 34 (1936) S. 389, 401, 411, 420, 433. — Derselbe, Über Stammwuchsuntersuchungen und ihre Auswertung in der Holzforschung. Holz als Roh- und Werkstoff Bd. 1 (1938) S. 3. — Derselbe, Das Holz als Rohstoff; seine Entstehung, stoffliche Beschaffenheit und chemische Verwertung. München/Berlin: I. F. Lehmann 1939.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, *Helmuth Max Josef Raunecker*, am 10. Juli 1913 als Sohn des Oberlehrers Max Raunecker und seiner Gemahlin Hilda geb. Rettenmayer in Malching Obb. Nach dem Besuch der Volksschule in Malching und eines humanistischen Gymnasiums in München erhielt ich dort Ostern 1933 das Reifezeugnis.

Nach acht Semestern forstlichen Studiums an der Universität München bestand ich Juni 1938 die Diplomprüfung; anschließlich war ich als Referendar auf verschiedenen Forstämtern und am Regierungsforstamt Oberbayern mit Betriebsregelungsarbeiten beschäftigt. Die Untersuchungen zur vorliegenden Arbeit führte ich mit Unterbrechungen in den Jahren 1937 und 1938 durch. Im Dezember 1939 wurde ich zum I.-R. 61 in München einberufen, nachdem ich im Mai 1939 meine Beförderungsübung zum Reserveoffizier mit Erfolg abgelegt hatte.